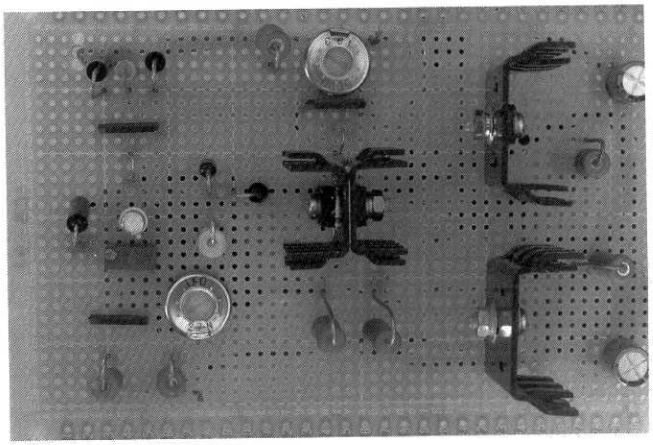
SEMICONDUCTOR

片チャンネルパワートランジスター起用に向けた

FETパワーアンプの設計と試作

落合　萠 OCHIAI Moyuru

SEPP段のコンプリメンタリーパワートランジスターの起用は，位相反転を単純に解決してくれたが，現在ではパワートランジスターの種類が急激に減少してきている．とりわけ，コンプリメンタリートランジスターが不足し始めている．半導体オーディオ用デバイスも少なくなり，スイッチング用トランジスターの流用も進んでいる．本稿では，コンプリメンタリーTrを用いない，片チャンネルパワートランジスター起用に向けた回路設計について検討を進める．もろん，DC（直流）アンプによる設計だ．



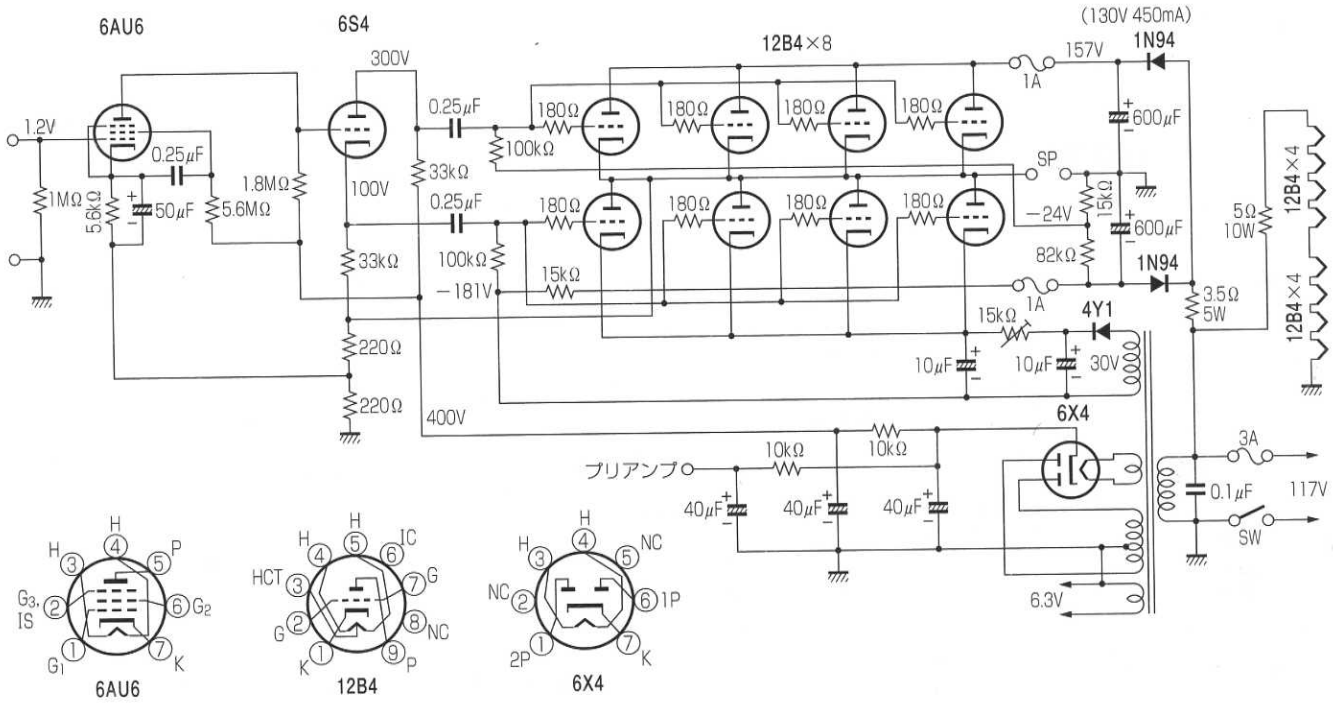
FETパワーアンプの設計製作だ．パワーデバイスの来し方を振り返るシナリオはない．いたずらに過去を振り返るのはよしとしない．

気になるサンプル

図1はフッターマンOTLパワーアンプだ．文字通りOTL回路構成のパワーアンプである．真空管パワーアンプの限界を見せつけてくれた，最も優れたアンプの一例である．

電気回路に精通した設計者により注意深く作られていて美しい．人は飾りものがいっぱいだが，名人はそれを省いてただ最後の一線のみになる，ということばがある．その例でもある．

しかしこのアンプ，よく検討されているがまだ荒削りで，実装はなかなかむずかしい．なぜここで，この回路かと問われれば，これは“今”のお手本だからだ．この

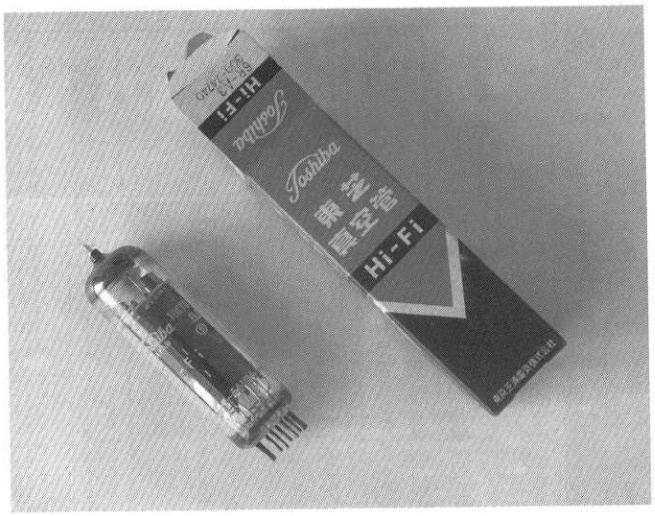


[図 1]] ±電源を供給し，出力コンデンサーを排除したフッターマンOTLアンプ

しい部材，コンデンサーが省けたこと，これは大きい改革だった．

つぎに，③で述べた非常に一般的なTV用3極電力真空管の並列接続の起用もたいしたものだ．これは半導体全盛の今も未だに実行されていない．この回路がなぜ並列使用を旨としていたのかが忘れられているからだ．トランジスター，5極管や3極管の単管使用をして，大量のNFBをかけ，MFB（モーショナルフィードバック）により欠点をしのぐのが常だ．そうでなければ，われわれの使用にはとても耐えられない．フッターマンOTLアンプに採用されたこの方法はそれなりの解決策だ．半導体熟成期の現在，コンプリメンタリーパワートランジスターの起用は，いかにことを単純にしたかがこれからもよく知れる．

⑤は，もうすでに解決済みだ．しかし，この問題は大きく，トランジスターが出るまでの長い懸案だった．ホールをマジョリティーキャリアとする“トランジスター”が実用になるまで待たねばならなかった．



12B4-Aより優れたOTL用の真空管があり，その一例が6R-A3だ．r_pが12B4-Aの 約1/4で，アンプの特徴を出しやすい特性に進化している

位相反転回路

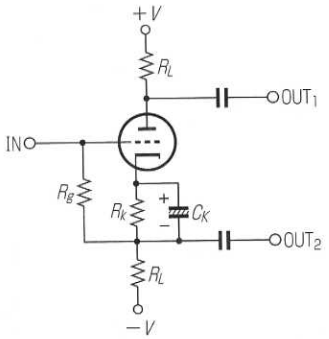
図2 (a) は，OTLアンプの電力増幅部を駆動するドライバーを抜き書きしたものだ．真空管好きファンなら，どこででも見かける回路だが，信号だけを追えればよいのでバイアスは省略し簡素化してある．ドライバーはPK分割型で，ドライバーの中では見かけ上最もわかりやすく，初学者はなじみやすい．

見かけ上，動作はきわめて単純で昔はアンプへの要求も低く，ご批判を承知の上で申し上げれば，心地よく聴ければよい，子供のおもちゃだから，こんな特性でも大いに役に立った．“こんな特性”とはなにか，それが問題だ．高周波特性が位相反転回路で狂ってしまうことだ．

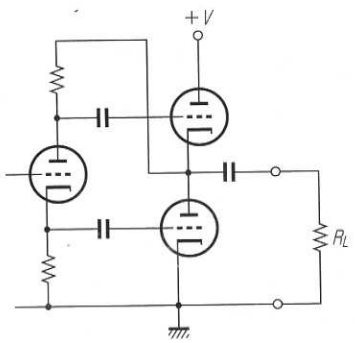
エレクトロニクスを熟知している方にはこの事情はよく知られていて，織り込み済みで採用する．トップクラスの真空管アンプをお見せしよう，お聴かせしようという意気込みの製作者は，知る範囲では採用してない．

さて，このPK分割回路（**図2 (a)**）．OTL電力増幅段には，このままでは位相反転回路用ドライバーとして使えない．2種類の特性の異なった出力（端）の，電力増幅段から観たマッチングを計らねばならない．このときは計算による定量的解析が必要になる．**図1**にも採用されていて，正帰還，負帰還を使い分け，マッチングを補償しようという回路が必要だ．

図2 (b) はドライブ管のプレートへの帰還でその効果を発揮している．計算はいささかやっかいだが，その動作機序は位相の様子をみただけでも理解できる，基本動作はきわめて単純だ．**図2 (c)** は

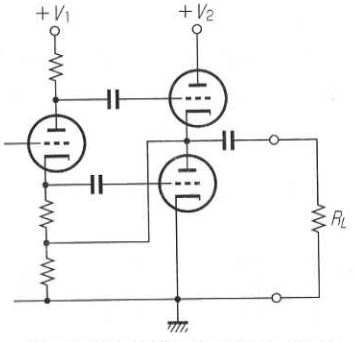


(a) PK分割位相反転回路



注）出力段はSEPPアンプになっている．

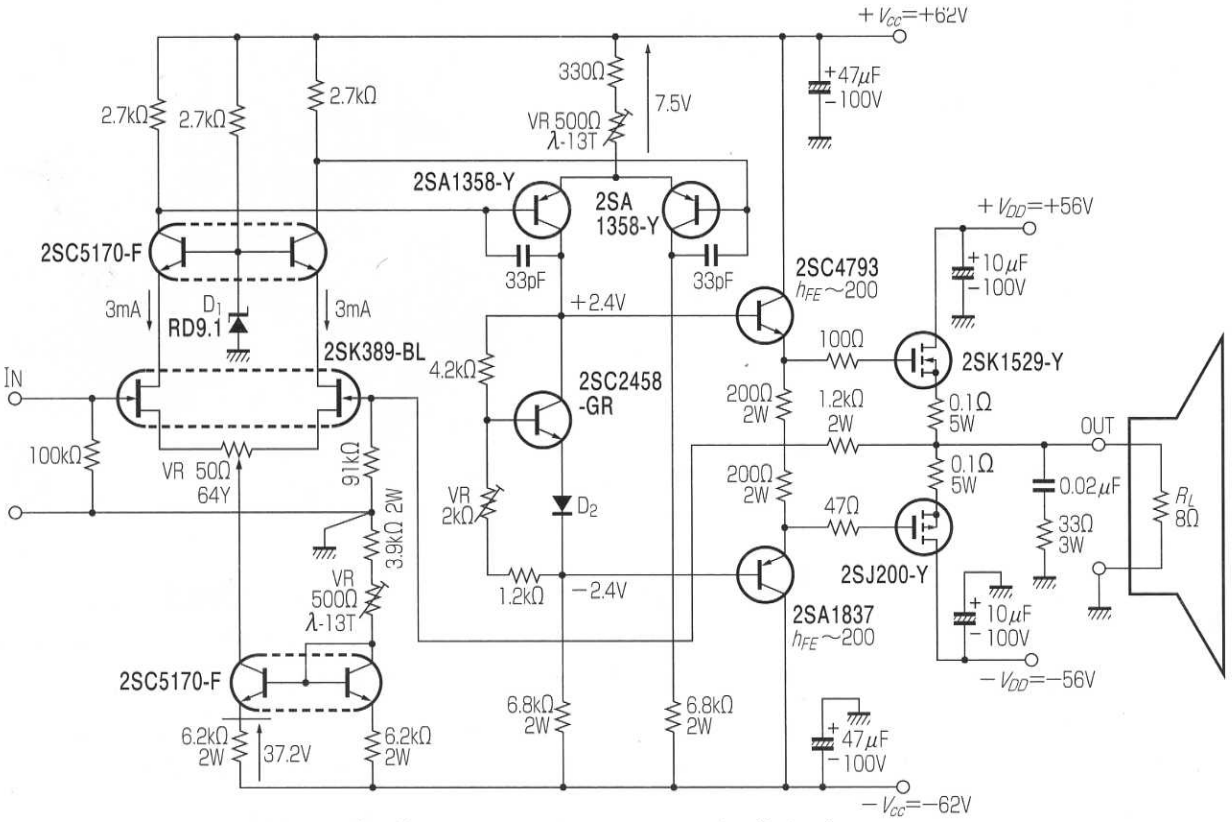
(b) 打ち消し電圧が前段回路のプレートにかけられている例



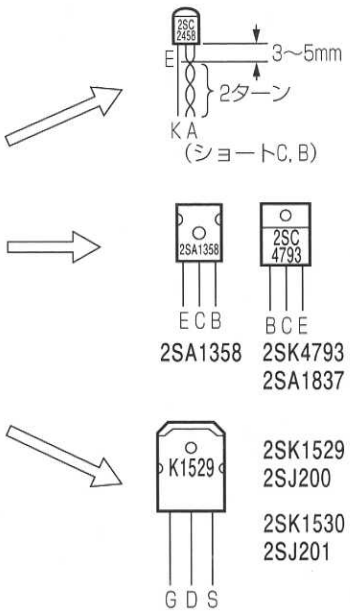
注）出力段はSEPPアンプになっている．

(c) 打ち消し電圧を前段回路カソード側にかけた例

[図2] PK分割位相反転回路とSEPP段のドライブ



注1) 200Ω＋200Ωは390Ω 1本に換えてもよいが，分けたほうが調整時に都合がよい．
2) 0.1Ω 5WはKOA SPRX5C．これは金属皮膜抵抗で，ヒートスタック内にマウントされている．
3) D_2は2SC2458-GRのB・C短絡タイプのダイオードで，MOS-FET 2SK1529-Yまたは2SJ200-Yと熱結合されている．
実体図は右図．
4) 2SA1358-Y×2はヒートシンクを介して熱結合する．フルモールドのためスペーサーフィルムはいらないが，グリースは塗る．
5) 2SA1358-Yと2SC4793，2SA1837ペアとは同じパワートランジスタでもピン配置は全く異なる．
6) VR 2kΩはパナソニック製．
7) 0.02μFおよび33pF×2は双信電機のディップドマイカ．
8) 0.1Ω 5Wを除く抵抗器はマイクロオームやパナソニック製．
9) 2SK1529-Y，2SJ200-Y および2SK1530-Y，2SJ201-Y のピン接続は右図のとおり
放熱板メタルはドレインのためマイカスペーサーとグリースはを介してヒートシンクにマウントすること．
グロメットも忘れないように購入する．



[図3] コンプリメンタリーMOSパワーFETを出力トランジスターに用いた完全DCパワーアンプの回路例

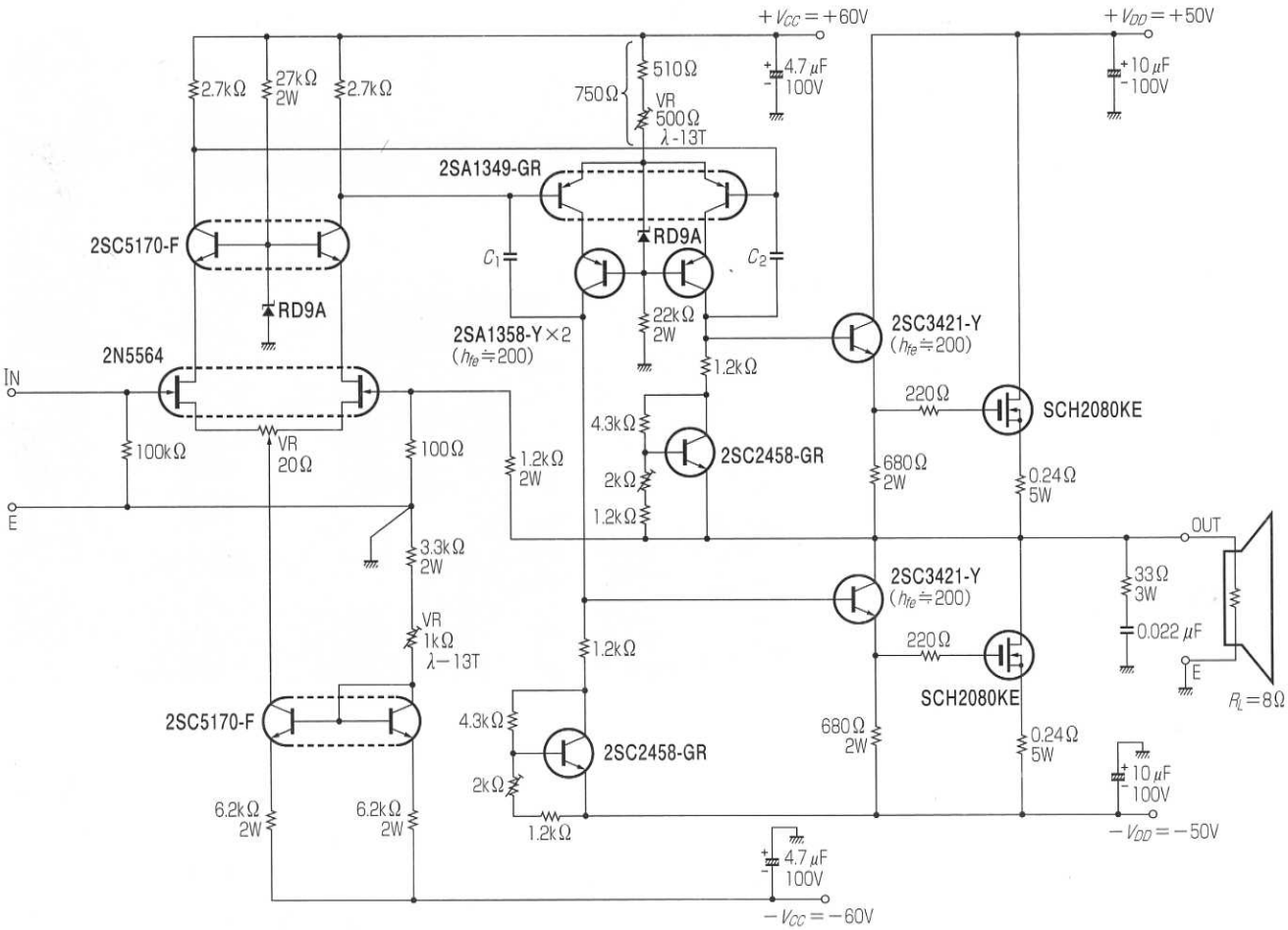
基本的に**図1**に起用された回路だ．ドライブ管のカソードに出力電圧が帰還されている．これも位相を解析すれば，動作原理は間をおかずに理解できるはずだ．フッターマンの提案の後からこの方式が広く採用されてきたようだ．

補償について

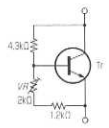
補償ができれば，よいではないか，それでもなぜこの回路に不満が生じるのか．

バイアスの問題もあるが，何よりも“本来まったく動作の異なる回路”の特性を，それによって生ずるはずれを，動作の違いという根本的な問題をそのままにして，見かけを揃えるという作業は不自然で，こりゃ無理というものだ．

いっぽう，コンプリメンタリーパワートランジスターを使用したDCアンプ（**図3**）のケースでは，出力端DCオフセット電圧が生じる場合があった．ほんのわずかの，言い換えれば，あったとしても，まったく影響はないが，しかし本来あるはずのない程度のオフセット電圧なのだが，この解決法はきわめて健康で，もともと，つまり原理的に揃っているのが前提の自



(1) VR 20Ω は 20 回転型.
(2) C_1, C_2 は 56pF.
(3) 増幅型熱補償回路 (右図) を用いた.
(4) 電力増幅用電源電圧は±45～50V でよい.
(5) 2SA1358-Y は, h_{fe}≒200 が望ましい.
(6) 逆位相 (反転側) 2SC3421 のコレクターは, アースからの給電でもよい.



(7) 増幅型熱補償回路は, 大型ヒートシンク内の対応するパワートランジスターの直近にセットする. 2SC2458-GR は, それぞれ SCH2080KE と熱結合する.
(8) 図中, NFB 抵抗 1.2kΩ 2W, ゲート入力抵抗 220 Ω×2, 0.24Ω 5W は, SCH2080KE 用大型ヒートシンク内にセットし, 基板上にはマウントしない.
(9) おもにサイズが小さいという理由で, 位相補償用 56pF と±60V 電源の 4.7μF 100V は基板裏面にマウントした.

[図4] シングルMOSパワーFETを用いた完全DCパワーアンプの試作回路例

実は, PNPまたはPチャンネルトランジスターがありさえすれば, 電力増幅部はトランジスターでなく真空管でもよいのだ. **図4**が基本となる回路だ. 回路方式と真空管を吟味しない限り, 半導体DCアンプほどの特性を出すのはなかなか難しいことは説明するまでもあるまい.

試作の計画もある. チャンスがあれば設計製作をお話ししよう.

トランジスターアンプへの発展

さて, 上述の状況でこれからを見通せば, 片チャンネルパワートランジスター起用に向けた回路設計に移行せねばなるまい. 狙いは, もちろん, いまはもうはじめからDC (直流) アンプである. つまり, コンプリメンタリートランジスターによるDCパワーアンプ同様, 完成度の高さが必要だ.

整合回路などもっての外. **図4**が試作機の回路だ. 何の変哲もないオペアンプICそのものだ. 初段アンプの作りは**図3**のそれと同じだ. PNPトランジスターによる2段目差動アンプの両コレクターの負荷抵抗に発生した信号電圧がSEPPを構成する各トランジスターをドライブしている. ま, 最も古典的なDCアンプだ. 歴史は繰り返す. しかし侮ってはならぬ.

すぐさま知れるように, いくつかの問題点が浮かび上がる.

電力増幅段の方式から, ドライブ電圧は**図3**の回路ほど必要としない. **図3**の方式では設計者が決めた環境, たとえば負荷抵抗, 負荷インピーダンスなど指定の下, これも設計者が決めた定格出力電力に対応する電圧まで励振せねばならない. たとえば, 負荷インピーダンス8Ωの下, 100Wの出力